

Desarrollo de sistema óptico para la medida de la translucidez

Néstor Tejedor Sierra^{2*}, Alejandro Ferrero Turrión¹, José Luis Velázquez Molinero,¹ y
Joaquín Campos Acosta¹

¹*Instituto de Óptica “Daza de Valdés” (IO, CSIC), Agencia Estatal CSIC, Madrid*

²*Falculat de Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid (UCM), Madrid*

<https://www.io.csic.es/>

1. Introducción

La translucidez de los objetos viene determinada por su absorción (coeficiente de absorción), su capacidad de desviar la luz (coeficiente de *scattering*), y por la probabilidad de que la desvíe hacia las distintas direcciones (función de fase) [1]. Un fotón que incida en el punto P sobre un objeto desde una dirección \mathbf{r} puede penetrar en su interior, sufrir un número indeterminado de eventos de *scattering*, y finalmente volver a emerger por un punto P' en una dirección \mathbf{r}' . La función de distribución $f(\mathbf{P}, \mathbf{r}; \mathbf{P}', \mathbf{r}')$ que describe tal proceso (conocida en la bibliografía como bidirectional subsurface scattering reflectance distribution, BSSRDF) permite obtener la función de fase y los coeficientes de absorción y *scattering* de un material a partir de la *Radiative Transfer Equation*. Sin embargo, su determinación experimental no es sencilla, pues requiere grados de libertad angulares y espaciales, y, si se quiere estudiar la importante dependencia con la longitud de onda, también espectrales. Hasta ahora no se conocen sistemas de medida de calidad metrológica para la BSSRDF. El propósito de esta línea de investigación, aún muy incipiente, es establecer la serie de procedimientos experimentales para una medida trazable.

La BSSRDF se define como el factor de proporcionalidad entre un elemento de radiancia emergente $dL_r(\mathbf{x}_r; \mathbf{r}_r)$ y un elemento de flujo radiante incidente $d\Phi_i(\mathbf{x}_i; \mathbf{r}_i)$:

$$\text{BSSRDF}(\mathbf{x}_i, \mathbf{r}_i; \mathbf{x}_r, \mathbf{r}_r) = \frac{dL_r(\mathbf{x}_r; \mathbf{r}_r)}{d\Phi_i(\mathbf{x}_i; \mathbf{r}_i)} \quad (1)$$

donde \mathbf{x}_i y \mathbf{x}_r son vectores que definen las posiciones del área irradiada y el área emisora, respectivamente, mientras que \mathbf{r}_i y \mathbf{r}_r son las direcciones de incidencia y emisión (Fig. 1).

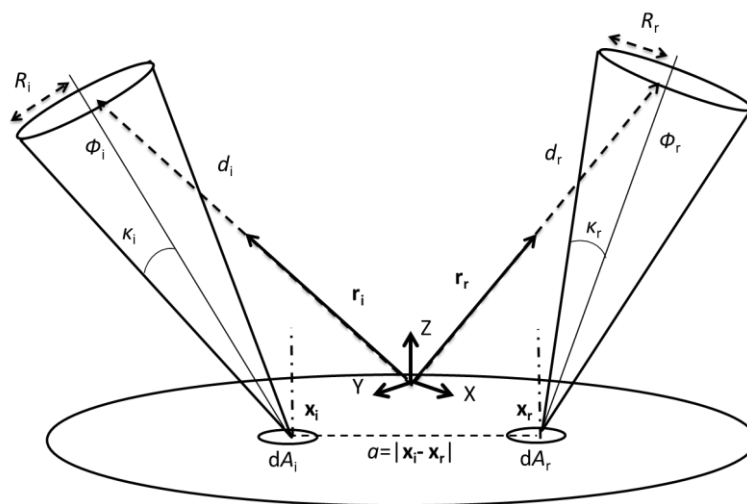


Figura 1: Variables geométricas implicadas en la definición de la BSSRDF.

* e-mail: nestorte@ucm.es

2. Trabajo previo

El Instituto de Óptica del CSIC ha diseñado y desarrollado un instrumento de medida que permite medir la luz esparcida por las superficies para cualquier dirección de iluminación y hacia cualquier dirección de observación, y para cualquier longitud de onda del visible [2,3]. Además el instrumento dispone de una cámara que aporta los grados de libertad espaciales. Este instrumento, que ya ha sido validado para la medida de otras magnitudes de reflectancia, como la BRDF, permitiría la medida de la BSSRDF. Pero antes se deben realizar una serie de adaptaciones, optimizaciones y caracterizaciones. El punto más crítico de esta medida es conseguir iluminar la muestra con una mancha muy pequeña (décimas de micrómetros), y ser capaz de realizar medidas eficientes y con bajo ruido. El ruido se puede reducir aumentando el tiempo de exposición (tiempo total de llegada de fotones en una medida), lo que aumentará el tiempo de medida.

3. Optimización del sistema de adquisición de imagen

Se han realizado una serie de pruebas para determinar cuáles son las mejores condiciones de adquisición con nuestra cámara para obtener un buen compromiso entre el tiempo de exposición y el ruido de la señal. El tiempo de exposición debe ser reducido para poder explorar en un tiempo asumible una gran cantidad de geometrías de medida, algo fundamental para poder obtener de la BSSRDF la función de fase. Se comprobó que el ruido de lectura de la cámara era superior a su ruido térmico hasta los dos segundos de tiempo de integración. A partir de dos segundos, el ruido térmico domina, y deja de ser constante el ruido de la señal con el tiempo de integración (tiempo total de llegada de fotones durante una *adquisición de cámara*) (Fig. 2). En tales condiciones, cuando el ruido de lectura no es limitante, es posible aumentar el tiempo de exposición realizando múltiples exposiciones a tiempos de integración bajos, sin aumentar el ruido de la señal por la suma cuadrática de los ruidos de lectura en cada imagen utilizada. Esto lo tuvimos en cuenta a la hora de diseñar un algoritmo de alto rango dinámico basado en la multiexposición. Este algoritmo permite variar la profundidad del rango dinámico a conveniencia, y dicho parámetro se eligió para encontrar el compromiso entre tiempo de adquisición y ruido. Los resultados se mostrarán en mayor detalle durante el congreso.

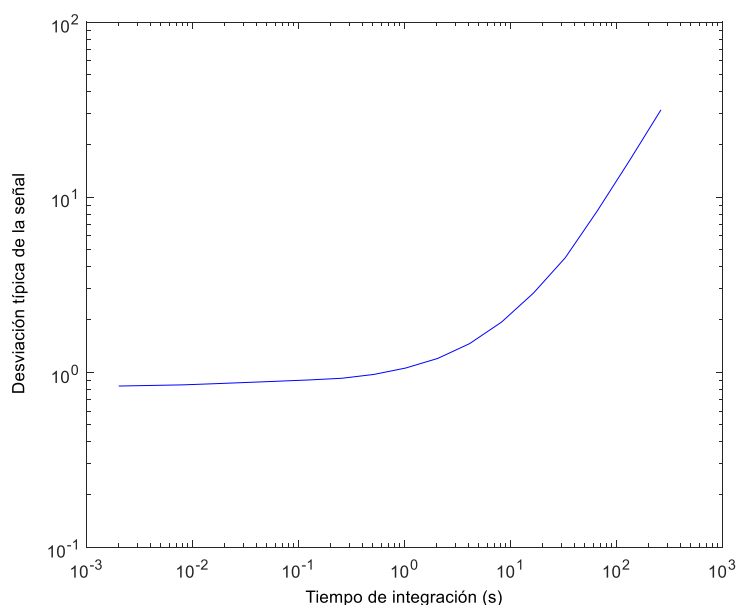


Figura 2: Variación del ruido relativo de la cámara con respecto al tiempo de integración.

4. Trabajo futuro

Una vez optimizadas las condiciones de adquisición, debemos caracterizar el punto de luz con que se iluminarán las muestras translúcidas, de manera que quede claro cuándo su perfil es modificado por la muestra (por *scattering* en volumen), y cuando simplemente se observa el perfil PSF característico. Será también el momento de establecer las fuentes de incertidumbre. También se ha de estudiar la linealidad de la cámara. Cuando todo este proceso de caracterización haya concluido, se medirá la BSSRDF a distintas geometrías de medida, para varios ángulos de iluminación y distintas longitudes de onda, de manera que, a partir de estas medidas de calidad metrológica, sea posible obtener características fundamentales de las muestras translúcidas, como son el coeficiente de *scattering*, el de absorción y la función de fase.

Agradecimientos: Este trabajo fue realizado dentro del Proyecto EMPIR 18SIB03 BxDiff “New quantities for the measurement of appearance”. *The EMPIR initiative is co-funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme and the EMPIR Participating States.*

Bibliografía

- [1] C. Donner, J. Lawrence, R. Ramamoorthi, T. Hachisuka, H. W. Jensen, S. Nayar, “An empirical BSSRDF model”, ACM Transactions on Graphics (TOG), **28**(3), 30 (2009).
- [2] A. M. Rabal, A. Ferrero, J. Campos, J. L. Fontecha, A. Pons, A. M. Rubiño, A. Corróns, “Automatic gonio-spectrophotometer for the absolute measurement of the spectral BRDF at in-and out-of-plane and retroreflection geometries”, Metrologia, **49**(3), p. 213 (2012).
- [3] B. Bernad, A. Ferrero, A. Pons, M. L. Herranz, J. Campos, “Upgrade of goniospectrophotometer GEFE for near-field scattering and fluorescence radiance measurements”, in Measuring, Modeling, and Reproducing Material Appearance 2015 (Vol. 9398, p. 93980E).